### ISSN 0002-306X. ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. գիտ. սերիա. 2023. Հ. LXXVI, N3.

#### *ኢ*Sጉ 539.374

ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

### DOI: 10.53297/0002306X-2023.v76.3-257

## Ա.Ա. ԲԱԲԱՅԱՆ, Բ.Ս. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ, Գ.Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

# ԵՐԿՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐԻ ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՑԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՄԲ

Խնդիրը լուծվում է չափազուրկ մեծություններով։ Դա հնարավորություն է տալիս երկմետաղի բաղադրյալ խողովակների լուծումները ստանալ ինչպես ցանկացած հոծ, այնպես էլ տարբեր ծակոտկենությամբ եռակալված նյութերի իրական հատկությունների հաշվառմամբ։

Երկմետաղի ներքին խողովակը գտնվում է հարթ լարվածային վիճակում։ Օգտագործվում են բարակապատ գլանական խողովակի տարրի կոնական մալամայրում հավասարակշռության դիֆերենցիալ և Լապլասի հավասարումները, ինչպես նաև Միզեսի պլաստիկության պայմանի պարզեցված տեսքը։ Արդյունքում ինտեգրելով ստացված դիֆերենցյալ հավասարումը՝ չափազուրկ միջօրեական և շրջանային լարումների, ինչպես նաև v ընթացիկ ծակոկենությունների որոշման համար ստացվում են բանաձևեր։ Ընդ որում, v-ի որոշման համար օգտագործվում են ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացման տեսության բանաձևերը։

Երկմետաղի արտաքին խողովակը գտնվում է ծավալային լարվածային վիձակում, ինչի պատձառով նախորդի համեմատ փոխվում են Լապլասի հավասարումը և պարզեցված պլաստիկության պայմանը։

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում իրականացվել են երկմետաղի բաղադրիչ խողովակների լարվածադեֆորմացիոն վիճակի (ԼԴՎ) թվային հաշվարկներ։ Մասնավորապես՝ արտաքին խողովակի դեպքում համակարգչային մոդելավորումը կատարվում է՝ նախապես սահմանելով միջօրեական չափազուրկ լարման  $\overline{\sigma}_{m0}$ - ի համար տարբեր սկզբնական արժեքներ։ Խողովակների արտամղման գործընթացին կհամապատասխանի այնպիսի  $\overline{\sigma}_{m0}$ - ի արժեք, երբ խողովակի  $\overline{\sigma}_m$  միջօրեական լարումը մամլամայրից դուրս գալու ժամանակ հավասարվի 0 - ի։

*Առանցքային բառեր.* երկմետաղական խողովակ, արտամղում, եռակալված նյութ, ծակոտկենություն, համակարգչային մոդելավորում։

Նախաբան։ Երկմետաղական մեքենամասերը լայնորեն օգտագործվում են արդյունաբերության տարբեր ոլորտներում որպես երկշերտ գլոցման վալեր, ատամնանիվներ, սալեր, թերթային գլոցվածքներ, չափիչ սարքեր, երկմետաղական լարեր, տարբեր նշանակություններով խողովակներ (այդ թվում՝ ջերմային) [1-3] և այլն։ Դրանց ստացման համար կիրառվում են տեխնոլոգիական տարբեր գործընթացներ, ներառյալ համապատասխան նախապատրաստվածքների կոշտ կոնական մամլամայրում պլաստիկ դեֆորմացմամբ մշակումը [4-8]։ Ընդ որում, հոծ, եռակալված և չեռակալված նյութերից մեքենամասերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների լարվածադեֆորմացիոն վիճակի (ԼԴՎ) ուսումնասիրության համար օգտագործվում են համապատասխան նյութերի պլաստիկության տեսությունների բանաձևեր [4, 8, 9]։

Նշենք, որ երկմետաղի շերտերի համատեղ պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացի վրա ազդում են բազմաթիվ գործոններ. դրանց մեխանիկական հատկությունները, շերտերի միջև շփման գործակիցների արժեքները, դրանց հաստությունների հարաբերությունը, դեֆորմացման գոտու չափսերը և դեֆորմացման աստիմանը։

Կատարվել է կլոր հատույթով հոծ, չեռակալված, եռակալված և երկմետաղական նախապատրաստվածքների կոնական մամլամայրում պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացներին նվիրված աշխատանքների [8, 9] վելուծություն։

Ի հայտ են բերվել ինչպես հոծ մետաղների, այնպես էլ մետաղական փոշուց պատրաստված կազմովի նախապատրաստվածքների պլաստիկ դեֆորմացման հիմնական առանձնահատկությունները։ [8, 10] – ում այդ խնդիրը յուծվել է օգտագործելով հինգ հավասարումներից կազմված համակարգ։

Ցույց է տրվել, որ ընդհանուր դրվածքով խնդրի լուծումը կախված է մեծ ղժվարությունների հետ։ Հետևաբար՝ երկմետաղական խողովակների ԼԴՎ ուսումնասիրությունը, ինչը թույլ կտա ստանալ տվյալ հատկություններով արտադրանք և որոշել գործընթացի էներգետիկ պարամետրերը, շատ արդիական է։

**Աշխատանքի նպատակն է** եռակալված երկմետաղական խողովակի կոնական մամլամայրում պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացի լարվածադեֆորմացիոն վիմակի վերյուծական պարզեցված մեթոդներով հետազոտումը։

Ելնելով աշխատանքի նպատակից, գլանական երկմետաղյա խողովակի կոնական մամլամայրում արտամղման խնդիրը պարզեցված վերլուծական մեթոդով լուծելու համար, նախ ընտրվում են դրա բաղադրիչ բարակապատ խողովակների միջև շփման բացակայության դեպքերը [11,12], լուծվում են միևնույն մամլամայրում դրանց արտամղման խնդիրները, իսկ այնուհետև՝ կատարվում է դրանց միավորում։ Ընդ որում, բաղադրիչ խողովակների նյութերը կարող են լինել հոծ և ծակոտկեն, ինչը հնարավորություն կտա ստանալ տարբեր կառուցվածքներով երկմետաղյա խողովակներ. հոծ-հոծ (տարբեր նյութեր), ծակոտկենծակոտկեն (տարբեր ծակոտկենություններ), ծակոտկեն-հոծ (նկ.1) և հոծ-ծակոտկեն։

1. Երկմետաղի ներքին խողովակի հետազոտումը։ [11] – ում գնահատվում են խողովակի դեֆորմացիոն և լարվածային վիհակները։ Երկու դեպքում էլ սկզբնական  $r_0$  միջին շառավղով խողովակը (նկ.1), անցնելով կոնական մամլամայրով,

բարականում է, նրա շառավիղը դառնում  $r_1$ ։ Ընդունենք, որ խողովակի պատի հաստությունը չի փոխվում։

Հիմնական դեֆորմացիան սեղմվող խողովակի շրջանայինն է՝

$$\overline{\varepsilon_{\theta}} = ln\left(\frac{r}{r_0}\right),\tag{1}$$

որտեղ r-ն ընթացիկ միջին շառավիղն է։ Այդ դեպքում գլխավոր դեֆորմացիաների արժեքները կլինեն՝  $\varepsilon_1 = \varepsilon_m = -\varepsilon_{\theta_i}$ ,  $\varepsilon_2 = \varepsilon_v = 0$  և  $\varepsilon_3 = \varepsilon_{\theta} - h$  (որտեղ  $\varepsilon_m - h$  $\varepsilon_v - h$  խողովակի միջօրեական և մակերևույթի նորմալի ուղղություններով լոգարիթմական դեֆորմացիաներն են), իսկ  $\overline{\varepsilon}_i$  դեֆորմացիաների ինտենսիվությունը կորոշվի հետևյալ բանաձևով [4].



Նկ.1. Երկմետաղական խողովակի արտամղման սխեման և դրա բաղադրիչներից անջատված տարրերը

Արտամղման դեպքում խողովակի բոլոր կետերի լարվածային վիճակը հարթ է, իսկ  $\sigma_m$  միջօրեական և  $\sigma_ heta$  շրջանային լարումները գլխավոր լարումներ են։

$$\sigma_1 = 0, \sigma_2 = \sigma_m, \sigma_3 = \sigma_\theta. \tag{3}$$

Կոնական մամլամայրում բարակապատ գլանական խողովակի դեֆորմացման դեպքում հավասարակշռության հավասարումներն են [4]՝

$$\frac{d}{dr}(\sigma_m rh) - \sigma_\theta h + \frac{p_m r}{sin\alpha} = 0, \qquad (4)$$

$$\frac{\sigma_{\theta}}{\rho_{\theta}} = -\frac{p_{\nu}}{h},\tag{5}$$

որտեղ  $\rho_{\theta} = r/cos \alpha$ - ն միջօրեական աղեղին ուղղահայաց կոնական մակերևույթով հատված թաղանթի կորության շառավիղն է, հ-ը՝ խողովակի պատի հաստությունը,  $p_m$ –ը և  $p_v$ –ն՝ միջօրեականի և նորմալի ուղղություններով խողովակի արտաքին մակերևույթի վրա հպակային բաշխված բեռնվածքի ինտենսիվությունները,  $\alpha$  – ն՝ միջօրեականի շոշափողի և թաղանթի առանցքի միջև անկյունը։

Արտամղման դեպքում, հաշվի առնելով (3)-ը, Միզեսի մոտարկված պլաստիկության պայմանը (ՊՊ) գրվում է հետևյալ տեսքով [6, 7].

$$\sigma_{\theta} = -\sigma_T$$
(6)

Օգտագործելով (4) և (5) հավասարակշռության հավասարումները և (6) ՊՊ-ն՝ ստացվում է խնդրի լուծման հետևյալ դիֆերենցիալ հավասարումը՝

$$\frac{d}{dr}(\sigma_m r) + (1 + \mu ctg\alpha)\sigma_T = 0$$

որի լուծումը արտամղման (երբ  $r = r_1, \bar{\sigma}_m = 0$ ) եզրային պայմանի դեպքում (նկ. 2) ներկայացվում է  $\bar{\sigma}_m$  չափազուրկ միջօրեական լարման որոշման հետևյալ բանաձևով՝

$$\bar{\sigma}_m = -(1 + \mu ctg\alpha)(1 - r_1/r)$$
: (7)

Ինչ վերաբերում է  $\bar{\sigma}_{\theta}$  չափազուրկ շրջանային լարման որոշմանը, ապա դրա համար օգտագործվում է (6) բանաձևը՝

$$\bar{\sigma}_{\theta} = -1: \tag{8}$$



Նկ. 2. Բարակապատ խողովակի արտամղման սխեման

Այսպիսով, խողովակի արտամղման դեպքում լարվածային վիձակի չափազուրկ բաղադրիչների որոշման համար օգտագործում են (7) և (8) բանաձները։

Եռակալված խողովակների մամլման դեպքում նյութի ծակոտկենության որոշումը։ Դրա համար օգտագործվում է ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացման տեսության (ԾՆՊԴՏ) ծակոտկենության որոշման հետևյալ բանաձևը [8, 10]՝

$$v = 1 - (1 - v_0) \exp\left(-\frac{9v_0^m \sigma_0 \varepsilon_{eq}}{(1 - v_0)^{3n} \sigma_{eq}}\right),$$
(9)

որտեղ  $v_0$ -ն նյութի սկզբնական ծակոտկենությունն է, m և n –ը՝ նյութի ծակոտկենության պարամետրերը,  $\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ ՝ միջին լարումը։

Ընդունենք, որ նյութը չամրացող է, այսինքն  $\sigma_{eq} = \sigma_{hv}$ , և դեֆորմացիաների համարժեքայինը, [11] – ի համաձայն, փոխարինում ենք դեֆորմացիաների ին-տենսիվությամբ՝  $\bar{\epsilon}_{eq} = \bar{\epsilon}_i$ :

Թվային հաշվարկները կատարվել են MS EXCEL ծրագրային միջավայրում։

Աղ. 1 – ում բերված են շփման բացակայության դեպքում խողովակի ԼԴՎ բաղադրիչների և նյութի ընթացիկ ծակոտկենության արժեքների փոփոխությունները կոնական մամլամայրում  $r/r_0$  - ից կախված։ Ընդ որում, տրված են շփման գործակիցը  $\mu = 0, \alpha = 14^0, c = 1 + \mu ctg\alpha = 1$ , նյութի սկզբնական ծակոտկենությունների արժեքները՝ v<sub>1</sub> = 0,1, v<sub>2</sub> = 0,2 և v<sub>3</sub> = 0,3, ինչպես նաև նյութի ծակոտկենության պարամետրերի մեծությունները՝ m = 1, n = 0,25։

Աղյուսակ 1

	r		r		r			r	
r	$r/r_0$	$\overline{\epsilon}_{ heta}$	$\overline{\varepsilon}_i$	$r_1/r$	$\overline{\sigma}_m$	$\overline{\sigma}_0$	$v_1$	$v_2$	$v_3$
12,50	1	0	0	0.6	-0.400	-0.467	0.1	0.2	0.3
12,25	0.98	-0.020	0.023	0.612	-0.388	-0.463	0.090	0.181	0.273
12	0.96	-0.041	0.047	0.625	-0.375	-0.458	0.081	0.162	0.245
11,75	0.94	-0.062	0.071	0.638	-0.362	-0.454	0.071	0.143	0.215
11,50	0.92	-0.083	0.096	0.652	-0.348	-0.449	0.061	0.123	0.185
11,25	0.9	-0.105	0.122	0.667	-0.333	-0.444	0.051	0.102	0.153
11	0.88	-0.128	0.148	0.682	-0.318	-0.439	0.041	0.082	0.120
10,75	0.86	-0.151	0.174	0.698	-0.302	-0.434	0.031	0.060	0.086
10,50	0.84	-0.174	0.201	0.714	-0.286	-0.429	0.021	0.039	0.051
10,25	0.82	-0.198	0.229	0.732	-0.268	-0.423	0.011	0.017	0.015
10	0.8	-0.223	0.258	0.75	-0.250	-0.417	0.001	-0.005	-0.022

 $\mathcal{W}$ ողովակի տրանց շփման արտամղման տվյալները, երբ c = 1 +  $\mu ctg\alpha$  = 1

**2. Երկմետաղի արտաքին խողովակի հետազոտումը։** [12] - ում շփման հաշվառման դեպքում երկմետաղական խողովակի արտամղման խնդրի լուծման տեսակետից դրա արտաքին խողովակի խնդրի լուծման համար, որը ենթադրվում է՝ բեռնավորված է  $p_r$  ներքին բարձր Ճնշումով, օգտագործվում է մամլամայր մտնող լայնական հատույթում  $\sigma_{m0}$ ՝ սեղմող միջօրեական լարում կիրառելով։ Այդ դեպքում  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  և  $\sigma_3$  գլխավոր լարումներն են՝

$$\sigma_1 = \sigma_m < 0, \ \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_\theta = -p_v = -p_r < 0,$$
 (10)

որտեղ  $p_v$  - ն մամլամայրի նորմալ Ճնշումն է խողովակի վրա։

[12]–ում խնդիրը լուծվում է չափազուրկ  $\bar{\sigma}_m$  միջօրեական և  $\bar{\sigma}_{\theta}$  շրջանային լարումներով ( $\bar{\sigma}_m = \sigma_m / \sigma_h$  և  $\bar{\sigma}_{\theta} = \sigma_{\theta} / \sigma_h$ ), օգտագործելով հետևյալ հավասարակշռության հավասարումը (ՀՀ) [12].

$$\frac{d}{dr}(\sigma_m r) - \sigma_\theta + \frac{2p_m}{\sin 2\alpha} = 0, \tag{11}$$

$$\frac{\sigma_{\theta}}{\rho_{\theta}} = -\frac{p_v - p_r}{h} - \frac{p_v + p_r}{2\rho_{\theta}},\tag{12}$$

որտեղ  $p_v$ -ն խողովակի վրա մամլամայրի Ճնշումն է նորմալի ուղղությամբ,  $\sigma_h$  - ը՝ խողովակի նյութի հոսունության սահմանը։

Այդ դեպքում խողովակի հավասարակշռության հավասարումն ու նյութի պլաստիկության պայմանն ունենում են հետևյալ տեսքը.

$$r\frac{d\bar{\sigma}_m}{dr} + \bar{\sigma}_m - \bar{\sigma}_\theta (1+k) = 0, \tag{13}$$

$$\bar{\sigma}_{\theta} = \bar{\sigma}_m - 1, \tag{14}$$

որտեղ  $k = 2f/sin2\varphi$  - ն շփումը հաշվի առնող գործակից է, f –ը՝ խողովակի կոնական մամլամայրի հետ շփման գործակիցը (նկ. 1)։

Մյուս դեպքում օգտագործվում է [11] հիմնական հավասարակշռության հավասարման պարզեցված մեթոդը, երբ k = 0։ Այդ դեպքում [11] - ը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$r\frac{d\bar{\sigma}_m}{d_r} + \bar{\sigma}_m - \bar{\sigma}_\theta = 0:$$
(15)

(14) պլաստիկության պայմանից  $\bar{\sigma}_{\theta}$ -ն տեղադրելով (15) - ի մեջ և աստիձանաբար ձևափոխելով՝ կստանանք.

$$r\frac{d\bar{\sigma}_m}{d_r} + 1 = 0, \, d\bar{\sigma}_m = -\frac{d_r}{r}$$
(16)

Ինտեգրելով (16) - ը, կստանանք.

$$\bar{\sigma}_m = -\ln r + \ln C: \tag{17}$$

Ինտեգրման *C*, հաստատունը որոշելու համար նախ (17) - ը փոխակերպենք հետևյալ տեսքի՝

$$\bar{\sigma}_m = \ln \frac{c}{r},\tag{18}$$

իսկ հետո օգտագործենք եզրային պայմանը։

Խողովակների արտամղման եզրային պայմանը, ըստ նկ. 2-ի, երբ այն մտնում է մամլամայր, ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\operatorname{tpp} r = r_0, \, \bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{m0}, \tag{19}$$

որը թույլ է տալիս (18) -ից որոշել Հ– ն՝

$$C = r_0 \cdot e^{\overline{\sigma}_{m0}}$$
(20)

Տեղադրելով (20) - ը (17) - ում և քայլ առ քայլ վերափոխելով, ստացվում է  $\bar{\sigma}_m$  միջօրեական լարման որոշման բանաձևը.

$$\bar{\sigma}_m = -\ln r + \ln C = \ln \frac{r_0}{r} + \bar{\sigma}_{m0},$$

$$\bar{\sigma}_m = -\ln r + \ln r_0 e^{\bar{\sigma}_{m0}},$$

$$\bar{\sigma}_m = -\ln r + \ln r_0 + \ln e^{\bar{\sigma}_{m0}},$$

$$\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{m0} + \ln \frac{r_0}{r}.$$
(21)

Եռակալված խողովակների նյութի խտացման գործընթացի հետազոտման համար կարևոր նշանակություն ունեցող  $\bar{\sigma}_0 = (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)/3$  միջին լարման չափազուրկ մեծությունը որոշվում է՝ հաշվի առնելով (10) և շրջանային  $\bar{\sigma}_{\theta}$  լարման (14) բանաձևերը.

$$\bar{\sigma}_{\theta} = \bar{\sigma}_m - 1, \bar{\sigma}_0 = (\bar{\sigma}_m + 2\bar{\sigma}_{\theta})/3:$$
(22)

Նշենք նաև, որ ունենալով չափազուրկ լարումների մեծությունները և նյութի հոսունության սահմանը՝ կարող ենք որոշել գործնական մեծ նշանակություն ունեցող, σ<sub>m</sub> և σ<sub>θ</sub> իրական լարումները հետևյալ բանաձևերով՝

$$\sigma_m = \bar{\sigma}_m (1-\nu)^{n+0.5} \sigma_h \, \mathrm{lt} \, \sigma_\theta = \bar{\sigma}_\theta (1-\nu)^{n+0.5} \sigma_h, \tag{23}$$

որոնք կիրառելի են ինչպես հոծ, այնպես էլ ծակոտկեն նյութերի դեպքում։

Նյութի ընթացիկ ծակոտկենության արժեքների որոշման համար անհրաժեշտ է օգտագործել ԾՆՊԴՏ (9) բանաձևը։

Բարակապատ խողովակի արտամղման խնդրի թվային հաշվարկները կատարելու համար օգտագործենք հետևյալ մեծությունները. մամլամայրի կոնական նության անկյունը՝  $\varphi = 14^{0}$ , խողովակի սկզբնական և արտադրանքի տրամագծերը՝  $D_{0} = 25$  մմ և d = 20 մմ (նկ.2):

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում ներքին ձնշմամբ բեռնված խողովակների արտամղման գործընթացի թվային հաշվարկները կատարվել են շփման բացակայության դեպքում (f = 0, k = 0)՝ օգտագործելով (21) և (22) բանաձևերը։

Աղ. 2-ում բերված են լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչների և ընթացիկ ծակոտկենության տվյալները k = 0 նյութի սկզբնական ծակոտկենության 0,1; 0,2; 0,3 դեպքերում, երբ m = 1 և n = 0,25 [3]:

Աղյուսակ 2

r	r/r <sub>0</sub>	$-\overline{\epsilon}_{\theta}$	$\overline{\epsilon}_i$	$-\overline{\sigma}_{m}$	$-\overline{\sigma}_{\theta}$	$-\overline{\sigma}_0$	$v_{10}$	v <sub>20</sub>	$\nu_{30}$
12,5	1	0	0	0.223	1.223	0.890	0.100	0.200	0.300
12,25	0.98	0.020	0.023	0.203	1.203	0.869	0.082	0.165	0.248
12	0.96	0.041	0.047	0.182	1.182	0.849	0.064	0.129	0.194
11,75	0.94	0.062	0.071	0.161	1.161	0.828	0.047	0.093	0.138
11,5	0.92	0.083	0.096	0.140	1.140	0.806	0.029	0.056	0.079
11,25	0.9	0.105	0.122	0.118	1.118	0.784	0.012	0.020	0.020
11	0.88	0.128	0.148	0.095	1.095	0.762	-0.004	-0.016	-0.041
10,75	0.86	0.151	0.174	0.072	1.072	0.739	-0.020	-0.052	-0.102
10,5	0.84	0.174	0.201	0.049	1.049	0.715	-0.036	-0.087	-0.164
10,25	0.82	0.198	0.229	0.025	1.025	0.691	-0.050	-0.121	-0.224
10	0.8	0.223	0.258	0.000	1.000	0.667	-0.064	-0.153	-0.283

Ічողովшկի `шпшид 2фиши (k = 0) ишициши онушциар ицаришии ирорашиши  $\bar{\sigma}_{m0} = -0,223$  шраги

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում իրականացվել է գործընթացի համակարգչային մոդելավորում՝ նախապես սահմանելով միջօրեական չափազուրկ լարման  $\bar{\sigma}_{m0}$ - ի համար տարբեր սկզբնական արժեքներ։ Խողովակների արտամղման գործընթացին կհամապատասխանի այնպիսի  $\bar{\sigma}_{m0}$ - ի արժեք, երբ խողովակի  $\bar{\sigma}_m$ միջօրեական լարումը մամլամայրից դուրս գալու ժամանակ կհավասարվի 0 - ի։ Աղ. 2-ում ցույց են տրված ընթացիկ r շառավիղների փոքրացման 0,25 քայլի՝ լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչների տվյալները  $\bar{\sigma}_{m0} = -0,223$  արժեքի դեպքում։ Աղյուսակից երևում է, որ խողովակների նյութի սկզբնական 10, 20 և 30% ծակոտկենությունները շփման գործակցի k = 0 դեպքում դեֆորմացիաների ինտենիսվության  $\bar{\epsilon}_i = 0,122$  - ից մինչև 0,148 միջակայքում դառնում են 0։

Գլանական երկմետաղական խողովակի բաղադրյալ բարակապատ խողովակների միջև շփման բացակայության դեպքերում դրանց արտամղման խնդիրները պարզեցված վերլուծական մեթոդներով լուծվել են միևնույն կոնական մամլամայրում։

3. Երկմետաղի բաղադրյալ խողովակների միավորումը։ Երկմետաղական բաղադրյալ խողովակների նյութերը կարող են լինել հոծ և ծակոտկեն, ինչը հնարավորություն կտա՝ ստանալու տարբեր կառուցվածքներով երկմետաղական խողովակներ, որոնցից մեկը՝ ծակոտկեն-հոծը, ցույց է տրված նկ.1- ում։ Գործնական կարևոր նշանակություն ունի միննույն սկզբնական 10, 20 և 30% ծակոտկենություններով ծակոտկեն-ծակոտկեն կառուցվածքով երկմետաղական խողովակի դիտարկումը։ Դրա համար աղ. 3 – ում բերված են միայն նշված ծակոտկենությունների համապատասխան արժեքները։

Աղյուսակ 3

<b>r</b> , <i>úú</i>	r/r <sub>0</sub>	$-\overline{\epsilon}_{\theta}$	$\overline{\epsilon}_i$	$\nu_{10}$	$\nu_{20}$	$\nu_{30}$	<b>V</b> 1	V2	V3
12,5	1	0	0	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
12,25	0.98	0.020	0.023	0.082	0.165	0.248	0.090	0.181	0.273
12	0.96	0.041	0.047	0.064	0.129	0.194	0.081	0.162	0.245
11,75	0.94	0.062	0.071	0.047	0.093	0.138	0.071	0.143	0.215
11,5	0.92	0.083	0.096	0.029	0.056	0.079	0.061	0.123	0.185
11,25	0.9	0.105	0.122	0.012	0.020	0.020	0.051	0.102	0.153
11	0.88	0.128	0.148	-0.004	-0.016	-0.041	0.041	0.082	0.120
10,75	0.86	0.151	0.174	-0.020	-0.052	-0.102	0.031	0.060	0.086
10,5	0.84	0.174	0.201	-0.036	-0.087	-0.164	0.021	0.039	0.051
10,25	0.82	0.198	0.229	-0.050	-0.121	-0.224	0.011	0.017	0.015
10	0.8	0.223	0.258	-0.064	-0.153	-0.283	0.001	-0.005	-0.022

Iтппишир `шпшид 2ириши (k = 0) ишициши инушциар инириши иреришиши иреришиши  $\bar{\sigma}_{m0} = -0,223$  шраги

Նշենք որ, 0 ինդեքսով ծակոտկենությունները վերաբերում են ներքին Ճնշումով բեռնավորված խողովակին։ Դրանց համեմատումը ցույց է տալիս, որ երկմետաղի արտաքին խողովակը, կոնական մամլամայրի ընթացիկ շառավղի  $r = 11 \ dd - h$  դեպքում արդեն խտացել է (բացասական ծակոտկենությունը նշանակում է, որ այն արդեն 0 է )։

**Եզրակացություն.** Այսպիսով, գլանական երկմետաղական խողովակի կոնական մամլամայրում արտամղման խնդիրը, պարզեցված վերլուծական մեթոդով լուծելու համար, ընտրվել է դրա բաղադրիչ բարակապատ խողովակների միջև շփման բացակայության դեպքը, լուծվել են միևնույն մամլամայրում դրանց արտամղման խնդիրները, իսկ այնուհետև կատարվել է դրանց միավորում։

Երկմետաղի ներքին խողովակը գտնվում է հարթ լարվածային, իսկ արտաքինը՝ ծավալային լարվածային վիճակներում։ Խնդիրները լուծվել են լարումների չափազուրկ մեծություններով։ Օգտագործվել են եռակալված նյութի ընթացիկ ծակոտկենության որոշման ԾՆՊԴՏ բանաձևը, Միզեսի պլաստիկության պայմանի պարզեցված տեսքերը, ինչպես նաև բարակապատ գլանական խողովակի կոնական մալամայրում դեֆորմացման երկուական հավասարակշռության հավասարումները, որոնցից դիֆերենցիալը նույնն է։ Նշենք նաև, որ ունենալով չափազուրկ լարումների մեծությունները և նյութերի հոսունության սահմանները՝ կարող ենք որոշել գործնականում մեծ նշանակություն ունեցող, իրական լարումները ինչպես հոծ, այնպես էլ ծակոտկեն նյութերի դեպքում։

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում իրականացվել են գործընթացի համակարգչային մոդելավորում և թվային հաշվարկներ։ Ցույց է տրվել, որ երկմետաղական արտաքին խողովակը կոնական մամլամայրի ընթացիկ շառավղի  $r = 11 \ \iota/\iota/ -$  ի դեպքում (դեֆորմացիաների ինտենիսվության՝  $\bar{\epsilon_i} = 0,148$ ) արդեն խտացել է։

## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

- Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник/ И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысельский и др.-Киев: Наукова думка, 1985.- 624 с.
- Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разных металлов.-М.: Металлургия, 1964.-269 с.
- 3. Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы: Пер. с англ.- М.: Энергия, 1979.-272 с.
- 4. **Малинин Н.Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975.-309 с.
- 5. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов.-М.: Машиностроение, 1969.-503 с.
- 6. Джонсон У., Меллор П.Б. Теория пластичности для инженеров.-М.: Машиностроение, 1979. - 567 с.
- Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977.-423 с.
- 8. Петросян Г.Л. Пластическое деформирование порошковых материалов.-М.: Металлургия, 1988.-153 с.
- A modified Drucker-Prager Cap model for die compaction simulation of pharmaceutical powders/ L.H. Han, J.A. Elliott, A.C. Bentham, A. Mills, G.E. Amidon, B.C. Hancock // International Journal of Solids and Structures.-2008.-45.-P.3088-3106.
- Петросян Г.Л. Формование слоисто-пористых биметаллических труб в конических матрицах // Известия АН АрмССР. Серия ТН.-1980.- Т. 33, N 6.- С. 15 – 21.
- 11. Бабаян А.А. Исследование процесса прессования спеченной тонкостенной трубы в конической матрице упрощенным методом // Межвузовский сборник «НАУКОВИ НОТАКИ».- ЛУЦК, Украина, ЛНТУ, 2019.- Выпуск N68.- С. 6-11.
- Бабаян А.А. Исследование процесса экструзии спеченной тонкостенной трубы, нагруженной внутренним высоким давлением, при отсутствии трения и с учетом граничного условия при входе в матрицу // Вестник НПУА: Механика, Машиноведение, Машиностроение. – 2022. - №2. – С.23-34.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան։ Նյութը ներկայացվել է իսմբագրություն 20.11.2023։

# А.А. БАБАЯН, Б.С. БАЛАСАНЯН, Г.Л. ПЕТРОСЯН ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ КОМПЬЮТЕРНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Задача решается с безразмерными величинами. Это позволяет получать решения из биметаллических композитных труб с учетом реальных свойств любого сплошного материала, а также спеченных материалов с различной пористостью.

Внутренняя трубка биметаллической трубы находится в плоском напряженном состоянии. Использованы дифференциальное уравнение элемента конической части трубы и уравнения Лапласа тонкостенной цилиндрической трубы в конической матрице, а также упрощенная форма условия пластичности Мизеса. В результате интегрирования полученного дифференциального уравнения получены формулы для определения безразмерных меридиональных и окружных напряжений, а также текущих пористостей v. Кроме того, для определения v используются формулы деформационной теории пластичности пористых материалов.

Внешняя трубка биметаллической трубы находится в объемном напряженном состоянии, в результате чего изменяются уравнение Лапласа и упрощенное условие пластичности по сравнению с предыдущим случаем.

Проведены численные расчеты напряженно-деформированного состояния биметаллических комплектующих труб в программной среде MS EXCEL. В частности, выполнено компьютерное моделирование внешней трубы, предварительно задавая различные начальные значения меридионального безразмерного напряжения  $\overline{\sigma}_{m0}$ . Показано, что процессу экструзии трубы соответствует такое начальное значение  $\overline{\sigma}_{m0}$  напряжения, при котором меридиональное напряжение  $\overline{\sigma}_m$  трубы при выходе из матрицы равно нулю.

*Ключевые слова:* биметаллическая труба, экструзия, спеченный материал, пористость, компьютерное моделирование.

# A.A. BABAYAN, B.S. BALASANYAN, G.L. PETROSYAN INVESTIGATING THE STRESS-STRAIN STATE OF OBTAINING BIMETALLIC PIPES THROUGH COMPUTER MODELING

The problem is solved with dimensionless quantities. This makes it possible to obtain solutions from bimetallic composite pipes taking into account the real properties of any solid material, as well as bimetallic materials with different porosities.

The inner tube of the bimetallic pipe is in a state of plane stress. The differential equation of the element of the conical part of the pipe and the Laplace equation of a thinwalled cylindrical pipe in a conical matrix, as well as a simplified form of the Mises plasticity condition are investigated. As a result, by integrating the obtained differential equation, formulas for determining dimensionless meridional and circumferential stresses are obtained, as well as current porosities v. In addition, to determine v, formulas from the deformation plasticity theory of porous materials are used.

The outer tube of the bimetallic pipe is in a state of dimensional stress. As a result, the Laplace equation and the simplified plasticity condition change compared to the previous one.

Numerical calculations of the stress-strain state of bimetallic completing pipes are carried out in the MS EXCEL software environment. In particular, computer modeling of the outer pipe is carried out by the preliminary determination of various initial values of the meridional dimensionless stress  $\overline{\sigma}_{m0}$ . It is shown that to the pipe extrusion process corresponds an initial stress value  $\overline{\sigma}_{m0}$  at which the meridional stress  $\overline{\sigma}_m$  of the pipe upon the exiting value is zero.

Keywords: bimetallic pipe, extrusion, sintered material, porous, computer modeling.